

COPYRIGHT: (C)1998,JPO

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-321942

(43) 公開日 平成10年(1998)12月4日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>

H 0 1 S 3/18

識別記号

F I

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数6 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-124240

(22) 出願日 平成9年(1997)5月14日

(71) 出願人 000005821

松下電器産業株式会社

大阪府門真市大字門真1006番地

(72) 発明者 上村 信行

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 長谷川 義晃

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(72) 発明者 石橋 明彦

大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
産業株式会社内

(74) 代理人 弁理士 前田 弘 (外2名)

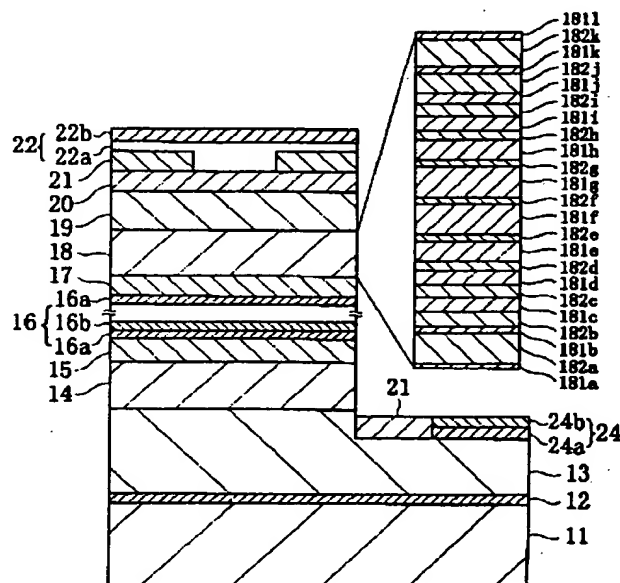
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 窒素を含有するIII-V族化合物を用いた半導体発光素子において、発光特性を向上し動作電圧を低減できるようにする。

【解決手段】 面方位が(0001)のサファイアよりなる基板11上には、上部に段差部を有するn型Ga<sub>0.9</sub>N層13が形成されている。n型Ga<sub>0.9</sub>N層13の上における段差部の上段側には、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第1のガイド層15と、活性層16bを含む多重量子井戸層16と、アンドープGa<sub>0.9</sub>Nよりなる第2のガイド層17と、p型不純物であるMgが活性層16b側の領域へ拡散することを抑制する拡散抑制層18と、p型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp型クラッド層19と、p型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなるp型コンタクト層20と、Niよりなる第1の金属膜22a及び該第1の金属膜22aの上にAuよりなる第2の金属膜22bが積層されてなる陽電極22とが順次形成されている。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 基板上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第1導電型の第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる活性層と、前記活性層の上側に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第2導電型の第2のクラッド層とを備えた半導体発光素子において、

前記活性層と前記第2のクラッド層との間に形成されており、前記第2のクラッド層の第2導電型の不純物が前記活性層側の領域へ拡散することを抑制するAlNを含む拡散抑制層を備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項2】 基板上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第1導電型の第1のクラッド層と、前記第1のクラッド層の上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる活性層と、前記活性層の上側に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第2導電型の第2のクラッド層とを備えた半導体発光素子において、

前記活性層と前記第2のクラッド層との間に形成されており、AlNよりなる半導体層を含む複数の半導体層よりなり、前記第2のクラッド層の第2導電型の不純物が前記活性層側の領域へ拡散することを抑制する拡散抑制層を備えていることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項3】 前記拡散抑制層は、AlNよりなる半導体層とGa<sub>1-x</sub>Nよりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなることを特徴とする請求項2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】 前記第2導電型の不純物はMgであることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体発光素子。

【請求項5】 前記拡散抑制層は、AlNよりなる半導体層とAl<sub>1-x</sub>Ga<sub>x</sub>In<sub>y</sub>N（但し、式中のxは0 ≤ x < 1の実数であり、yは0 ≤ y ≤ 1の実数である。）よりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体発光素子。

【請求項6】 前記活性層はGa<sub>1-x</sub>In<sub>y</sub>N（但し、式中のxは0 < x ≤ 1の実数である。）よりなることを特徴とする請求項1又は2に記載の半導体発光素子。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、活性層及びクラッド層に窒素(N)を含むIII-V族化合物よりなる半導体発光素子に関する。

## 【0002】

【従来の技術】近年、次世代高密度情報処理技術のキーデバイスとして、レーザの短波長化を可能にする窒素を含むIII-V族化合物半導体が注目を集めている。

【0003】以下、窒素を含むIII-V族化合物半導体を用いた従来の半導体発光素子を図面に基づいて説明する。

【0004】図5は従来の、窒素を含むIII-V族化合物半導体よりなるレーザ素子又は発光ダイオード素子を示す構成断面図である。図5に示すように、面方位が(0001)のサファイアよりなる基板101上には、Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるバッファ層102と、該バッファ層102の上に、上部に段差部を有するn型Ga<sub>1-x</sub>N層103とが順次形成されている。

【0005】n型Ga<sub>1-x</sub>N層103の上における段差部の上段側には、n型Ga<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>N層104と、n型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるn型クラッド層105と、n型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるn型ガイド層106と、アンドープGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>Nよりなるバリア層107aとアンドープGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>N層よりなる活性層107bとが四重に交互に積層されてなる多重量子井戸層107と、p型Al<sub>0.2</sub>Ga<sub>0.8</sub>N層108と、p型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるp型ガイド層109と、p型Al<sub>0.05</sub>Ga<sub>0.95</sub>Nよりなるp型クラッド層110と、p型Ga<sub>1-x</sub>Nよりなるコンタクト層111と、Ni及びAuが積層されてなる陽電極112とが順次形成されている。

【0006】n型Ga<sub>1-x</sub>N層103の上における段差部の下段側には、Ti及びAlが積層されてなる陰電極113が形成されている。

【0007】図5に示す半導体発光素子は、キャビティ長が700 μmで、ストライプ幅が2 μmであって、四重の活性層107bにより多重量子井戸が形成されるダブルヘテロ構造を有していることを特徴とする。このダブルヘテロ構造によって、発振波長が408 nm、しきい値電圧が8 V、しきい値電流が130 mA、しきい値電流密度が9 kA/cm<sup>2</sup>、及び寿命が1秒の室温連続発振を実現している(Shuji Nakamura et al.; Applied Physics Letters Vol. 69(1996)pp.4056-4058)。

## 【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、前記従来の半導体発光素子は、発光効率が悪く動作電圧が高いという問題を有している。

【0009】本発明は、前記従来の問題を解決し、発光特性を向上し動作電圧を低減することを目的とする。

## 【0010】

【課題を解決するための手段】前記の目的を達成するため、本発明は、活性層とクラッド層との間に、不純物の拡散を抑制するAlNよりなる半導体層を設けるものである。

【0011】本発明に係る半導体発光素子は、基板上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第1導電型の第1のクラッド層と、第1のクラッド層の上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる活性層と、活性層の上側に形成され、窒素を含むIII-V族化

合物よりなる第2導電型の第2のクラッド層とを備え、活性層と第2のクラッド層との間に形成されており、第2のクラッド層の第2導電型の不純物が活性層側の領域へ拡散することを抑制するAlNを含む拡散抑制層を備えている。

【0012】本発明に係る第2の半導体発光素子は、基板上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第1導電型の第1のクラッド層と、第1のクラッド層の上に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる活性層と、活性層の上側に形成され、窒素を含むIII-V族化合物よりなる第2導電型の第2のクラッド層とを備え、活性層と第2のクラッド層との間に形成されており、AlNよりなる半導体層を含む複数の半導体層よりなり、第2のクラッド層の第2導電型の不純物が活性層側の領域へ拡散することを抑制する拡散抑制層を備えている。

【0013】第1又は2の半導体発光素子によると、活性層と第2導電型の第2のクラッド層との間に形成され、第2導電型の不純物が活性層側の領域へ拡散することを抑制するAlNを含む拡散抑制層を備えているため、該AlNを構成するAlは、例えば同じIII族元素であり、最も一般的に用いられるGaよりもその原子半径が小さいため、AlNよりなる結晶格子の格子間の間隙がGaNに比べて小さいので、不純物原子が拡散できなくなる。

【0014】第2の半導体発光素子において、拡散抑制層は、AlNよりなる半導体層とGaNよりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなることが好ましい。このようにすると、AlN層とGaN層とが互いにヘテロ接合されるため、AlN層のエネルギーバンドギャップがGaN層に比べて大きいので、GaN層に量子井戸を形成することができる。

【0015】第1又は第2の半導体発光素子において、第2導電型の不純物はMgであることが好ましい。

【0016】第1又は第2の半導体発光素子において、拡散抑制層は、AlNよりなる半導体層と $Al_xGa_{1-x}In_yN$ （但し、式中のxは $0 \leq x < 1$ であり、yは $0 \leq y \leq 1$ である。）よりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなることが好ましい。

【0017】第1又は第2の半導体発光素子において、活性層は $Ga_{1-x}In_xN$ （但し、式中のxは $0 < x \leq 1$ である。）よりなることが好ましい。

【0018】

【発明の実施の形態】本発明の一実施形態を図面を参照しながら説明する。

【0019】図1は本発明の一実施形態に係る半導体発光素子を示す構成断面図である。図1に示すように、面方位が(0001)のサファイアよりなる基板11上には、アンドープGaNよりなり、厚さが30nmで結晶格子の整合性を高めるためのバッファ層12と、該バッ

ファ層12の上に、厚さが3.0μmで上部に段差部を有するn型GaN層13とが順次形成されている。

【0020】n型GaN層13の上における段差部の上段側には、n型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなり、厚さが500nmのキャリアを封じ込めるための第1のクラッド層としてのn型クラッド層14と、アンドープGaNよりなり、厚さが100nmのキャリア封じ込めの効果を高める第1のガイド層15と、アンドープ $Ga_{0.95}In_{0.05}N$ よりなり厚さが5nmのバリア層16aとアンドープ $Ga_{0.8}In_{0.2}N$ 層よりなり厚さが2.5nmの活性層16bとが五重に交互に積層され、さらにその上にもう一層のバリア層16aが積層されてなる多重量子井戸層16と、アンドープGaNよりなり、厚さが100nmのキャリア封じ込めの効果を高める第2のガイド層17と、アンドープAlNよりなる半導体層181とアンドープGaNよりなる半導体層182とが十一重に交互に積層され、さらにその上にもう一層のAlN層181が積層された積層体よりなり、p型不純物の活性層16b側の領域への拡散を抑制する拡散抑制層18と、p型 $Al_{0.1}Ga_{0.9}N$ よりなり、厚さが500nmのキャリアを封じ込めるための第2のクラッド層としてのp型クラッド層19と、p型GaNよりなり、厚さが300nmのp型コンタクト層20と、断面T字形で且つその脚部が酸化シリコンよりなる電流狭さく層21に囲まれたNiよりなる第1の金属膜22a及び該第1の金属膜22aの上にAuよりなる第2の金属膜22bが積層されてなる陽電極22とが順次形成されている。

【0021】なお、基板11に絶縁体であるサファイアを用いており、基板の裏面に陰電極が設けられないため、n型GaN層13の上における段差部の下段側にTi層24a及びAl層24bが積層されてなる陰電極24が形成されている。

【0022】図1における拡散抑制層18の拡大図に示すように、拡散抑制層18は、第2のガイド層17側から順に、AlNが1原子層よりなるAlN(1)層181a、GaNが10原子層よりなるGaN(10)層182aというように、AlN(2)層181b、GaN(6)層182b、AlN(3)層181c、GaN(4)層182c、AlN(4)層181d、GaN(3)層182d、AlN(6)層181e、GaN(2)層182e、AlN(10)層181f、GaN(1)層182f、AlN(10)層181g、GaN(2)層182g、AlN(6)層181h、GaN(3)層182h、AlN(4)層181i、GaN(4)層182i、AlN(3)層181j、GaN(6)層182j、AlN(2)層181k、GaN(10)層182k、及びAlN(1)層181lが形成されている。

【0023】以下、前記のように構成された半導体発光素子の製造方法を説明する。

【0024】まず、面方位が(0001)のサファイアよりなる基板11の主面に対して有機溶媒を用いて洗浄等の前処理を施した後、有機金属気相エピタキシャル成長法を用い、圧力が $7.0 \times 10^{-3}$  Paの水素雰囲気中で基板11を温度が1090℃になるまで加熱し、基板11の表面に付着している吸着ガス、酸化物又は水分子等を除去する。ちなみに、圧力単位Paは、Torrと $10^{-3}$  Pa $\approx$ 1 Torrなる関係を有する。

【0025】その後、基板11の温度を550℃にまで下げ、基板11上に、トリメチルガリウムを流量5.5 sccmで、アンモニアを流量2.5 l/minで導入すると共にシランを導入して、基板11の上にアンドープGa<sub>0.9</sub>Nよりなるバッファ層12を30 nmの厚さに成長させる。その後、基板11の温度を1060℃にまで上げ、トリメチルガリウムを流量0.27 sccmで、アンモニアを流量5.0 l/minで、及びシランを流量12.5 sccmで導入することにより、基板11の上のバッファ層12上に厚さが3.0  $\mu$ mのn型Ga<sub>0.9</sub>N層13を成長させる。

【0026】次に、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、トリメチルアルミニウムを流量5.4 sccmで、アンモニアを流量2.5 l/minで、及びシランを流量12.5 sccmで導入して、基板11の上のn型Ga<sub>0.9</sub>N層13上にn型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなり、厚さが500 nmのn型クラッド層14を成長させる。

【0027】次に、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、アンモニアを流量2.5 l/minで導入して、基板11の上のn型クラッド層14上にアンドープGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>Nよりなり、厚さが100 nmの第1のガイド層15を成長させる。

【0028】次に、基板11の温度を730℃にまで下げ、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、トリメチルインジウムを流量27 sccmで、アンモニアを流量10 l/minで、及び窒素を流量10 l/minで導入して、基板11の上の第1のガイド層15上にアンドープGa<sub>0.95</sub>In<sub>0.05</sub>Nよりなり、厚さが5.0 nmのバリア層16aを成長させる。引き続き、基板11の温度をそのままにし、基板11上に、トリメチルガリウムを流量10.8 sccmで、トリメチルインジウムを流量27 sccmで、アンモニアを流量10 l/minで、及び窒素を流量10 l/minで導入して、バリア層16a上にアンドープGa<sub>0.8</sub>In<sub>0.2</sub>Nよりなり、厚さが2.5 nmの活性層16bを成長させる。これらのバリア層16a及び活性層16bを一對とする計5対の成膜を繰り返した後、その上にもう一層のバリア層16aを積層することにより、五重に交互に積層されてなる多重量子井戸層16を形成する。

【0029】次に、基板11の温度を1060℃にまで

上げ、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、アンモニアを流量2.5 l/minで導入して、基板11の上の多重量子井戸層16上にアンドープGa<sub>0.9</sub>Nよりなり、厚さが100 nmの第2のガイド層17を成長させる。

【0030】次に、基板11の温度を1060℃のまま、基板11上に、トリメチルアルミニウムを流量5.4 sccmで、及びアンモニアを流量2.5 l/minで導入して、基板11の上の第2のガイド層17上にAlN(1)層181aを成長させる。次に、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、及びアンモニアを流量2.5 l/minで導入して、基板11の上のAlN(1)層181a上にGa<sub>0.9</sub>N(10)層182aを成長させる。このように、前述したAlN層181b~181kとGa<sub>0.9</sub>N層182b~182kとを交互に成長させ、Ga<sub>0.9</sub>N(10)層182kの上にAlN(1)層181lを成長させることにより、拡散抑制層18を形成する。

【0031】その後、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、トリメチルアルミニウムを流量5.4 sccmで、アンモニアを流量2.5 l/minで、及びシクロペンタジエニルマグネシウムを流量5.0 sccmで導入して、基板11の上の拡散抑制層18上にp型Al<sub>0.1</sub>Ga<sub>0.9</sub>Nよりなり、厚さが500 nmのp型クラッド層19を成長させる。

【0032】次に、基板11の温度を680℃にまで下げ、基板11上に、トリメチルガリウムを流量2.7 sccmで、アンモニアを流量5.0 l/min、シクロペンタジエニルマグネシウムを流量5.0 sccmで導入して、基板11の上のp型クラッド層19上に厚さがp型Ga<sub>0.9</sub>Nよりなり、300 nmのp型コンタクト層20を成長させる。

【0033】次に、成膜された基板11に対して、窒素雰囲気において温度が700℃で、1時間のアニールを行なって、p型クラッド層18、p型Ga<sub>0.9</sub>N層19及びp型コンタクト層20中のp型不純物イオンであるMgを活性化させる。

【0034】次に、アニール後の基板11に陽電極22及び陰電極24を形成する方法を説明する。

【0035】まず、基板11におけるp型コンタクト層20の上の陽電極22形成領域に開口部を有するマスクパターンを形成した後、基板の上に全面にわたって厚さが1  $\mu$ mのマスク用Niを蒸着させる。次に、マスクパターンを除去した後、混合比が1:1の塩素と水素とからなるECRプラズマ中で、圧力が133.3 mPa、RFパワーが400 W、RF周波数が13.56 MHz、及び基板11を保持する基板ホルダとグリッドとの間の電圧を500 Vにそれぞれ設定して、マスク用Niをマスクとして基板11に対して20分間のドライエッチングを行なって、n型Ga<sub>0.9</sub>N層13を露出させる。そ

の後、大気圧の窒素雰囲気下で、硝酸を用いてマスク用Niを除去する。なお、マスク用Niの代わりにアルミニウム等の金属又はSiO<sub>2</sub>等の誘電体を用いてもよい。

【0036】次に、CVD法を用いて、基板11の上に全面にわたって、SiO<sub>2</sub>よりなり、膜厚が100nmの誘電膜を堆積する。なお、CVD法としては、光CVD法であっても、プラズマCVD法であってもよい。

【0037】続いて、基板11上の誘電膜の上に全面にわたってレジスト膜を塗布した後、フォトリソグラフィを用いて、基板11の上のp型コンタクト層20の上面における陽電極形成領域、及び基板11の上のn型GaN層13の露出面における陰電極形成領域にそれぞれ選択的に幅が10μmの開口部を有するレジストパターンを形成し、該レジストパターンをマスクとして、混合比が1:10のフッ化水素とフッ化アンモニウムとからなる水溶液を用いて基板11に対してウエットエッチングを行なって、p型コンタクト層20の上面の陽電極形成領域及びn型GaN層13の露出面の陰電極形成領域にそれぞれ開口部を有し、SiO<sub>2</sub>よりなる電流狭さく層21を形成する。この場合、図1に示した半導体発光素子とは異なり、陰電極24にも、陽電極22と同様の電流狭さく層21が形成される。

【0038】次に、アセトン及びO<sub>2</sub>プラズマを用いて基板11上のレジストパターンを除去した後、p型コンタクト層20の上面における電流狭さく層21及び該電流狭さく層21の開口部にNiよりなる第1の金属膜22aと、該第1の金属膜22aの上にAuよりなる第2の金属膜22bを順次蒸着して陽電極22を形成する。

【0039】次に、n型GaN層13の上面における電流狭さく層及び該電流狭さく層の開口部にTi層24a及びAl層24bを順次蒸着して陰電極24を形成する。

【0040】次に、キャビティ長が0.5mmになるように基板11をへき開いて半導体発光素子を完成させる。

【0041】以下、本実施形態に係る半導体発光素子の特性を説明する。

【0042】まず、光学的特性は、レーザ光の発振波長が410nmであり、端面の反射率がフロント及びリア共に22%である。また、レーザ光の内部損失は5cm<sup>-1</sup>、共振器における損失は20cm<sup>-1</sup>である。

【0043】次に、電気的特性を説明する。

【0044】p型クラッド層19及びn型クラッド層14のキャリア密度はそれぞれ1×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>、p型コンタクト層20及びn型GaN層13のキャリア密度はそれぞれ3×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>である。

【0045】移動度は、p型クラッド層19、p型コンタクト層20がそれぞれ10cm<sup>2</sup>/V・sであり、n型クラッド層14及びn型GaN層13がそれぞれ25

0cm<sup>2</sup>/V・sであるため、十分に抵抗率が小さいp型クラッド層19、n型クラッド層14、p型コンタクト層20及びn型GaN層13が実現されている。

【0046】陽電極22側において、p型のコンタクト層20と該コンタクト層20と接する第1の金属膜22aであるNiとの間においてオーミック接触が実現し、同様に、陰電極24側において、n型GaN層13とTi層24aとの間にもオーミック接触が実現している。

【0047】図2は本実施形態に係る半導体発光素子の電流電圧特性を表わすグラフである。図2において、1Aは本実施形態に係る半導体発光素子の出力電力を表わす曲線であり、1Bは本実施形態に係る半導体発光素子に印加される順方向電圧を表わす曲線である。一方、10Aは従来の半導体発光素子の出力電力を表わす曲線であり、10Bは従来の半導体発光素子に印加される順方向電圧を表わす曲線である。図2において、本実施形態に係る半導体発光素子のしきい値電圧は、曲線1Aに示すように4.8Vであり、そのしきい値電流は曲線1Bに示すように110mAであることがわかる。一方、従来の半導体発光素子のしきい値電圧は曲線10Aに示すように8Vであり、そのしきい値電流は曲線10Bに示すように130mAである。また、しきい値電流密度は、本実施形態に係る半導体発光素子が2kA/cm<sup>2</sup>であり、従来の半導体発光素子が9kA/cm<sup>2</sup>である。これにより、本実施形態に係る半導体発光素子の電流電圧特性は従来の半導体発光素子よりも明らかに向上していることがわかる。

【0048】これは、p型不純物であるMgが活性層16b側に拡散するのを抑制する拡散抑制層18が設けられているためである。すなわち、AlN結晶を構成するAlの原子半径が、GaN結晶を構成するGaの原子半径よりも小さいため、AlN結晶内の隙間がGaN結晶内の隙間よりも小さいので、Al原子に置換された不純物イオンのMgが結晶内に拡散できないからである。

【0049】以下、具体的に、不純物Mgの活性層16b側の領域への拡散が抑制される様子を図面を参照しながら説明する。

【0050】図3は二次イオン質量分析計(SIMS)を用いて分析した本実施形態に係る半導体発光素子及び従来の半導体発光素子におけるp型不純物であるMg濃度を示すグラフである。図3において、曲線2は本実施形態に係る半導体発光素子のMg濃度を示し、曲線11は従来の半導体発光素子のMg濃度を示している。なお、深さ方向を表わすスケールAは本実施形態に係る半導体発光素子を示し、スケールBは従来の半導体発光素子を示し、その符号は各半導体層又は金属層にそれぞれ対応している。図3の曲線2に示すように、本実施形態に係る半導体発光素子のMg濃度は、p型クラッド層19と拡散抑制層18との界面で急峻に低下し、10<sup>14</sup>/cm<sup>3</sup>以下になっている。一方、曲線11に示す従来の

半導体発光素子の場合、活性層107領域においても $10^{17}/\text{cm}^3$ 以上存在している。

【0051】このように、本実施形態によると、第2のガイド層17とp型クラッド層19との間にAlNを含む拡散抑制層18を設けているため、p型クラッド層19から活性層16b側の領域への不純物Mgの拡散を抑えることができる。従って、不純物Mgの濃度が活性層16b領域において $10^{14}/\text{cm}^3$ 以下であるため、活性層領域16bに侵入した該Mgによって発光効率が低下することがない。このことが、前述したように、しきい値電流密度が従来の4分の1以下である $2.0\text{ kA}/\text{cm}^2$ となり、且つ、本発光素子の動作電圧を低減できる要因の1つである。

【0052】さらに、本実施形態の特徴として、拡散抑制層18が数原子層程度の膜厚のAlN層181a~181lとGaN層182a~182kとが交互に組み合わせられたヘテロ接合よりなることにより、図4(a)における拡散抑制層18の荷電子帯エネルギーバンド図に示すように、量子井戸を形成する各GaN層182a~182k内で量子トンネル準位が形成される。さらに、拡散抑制層18は、各量子井戸の量子トンネル準位がすべて等しくなるように、原子層数と該原子層数の変化量とが採用されているため、すなわち、図1の拡散抑制層18の拡大図に示すように、AlN層181a~181lは拡散抑制層18の中央部で最大値10を取ると共に両端部で最小値1を取り、一方、GaN層182a~182kは拡散抑制層18の両端部で最大値10を取ると共に中央部で最小値1を取るように形成されているため、各GaN層182a~182kにトンネル電流が流れるので、その結果、発光素子の内部抵抗が低減する。従って、これによっても、発光素子の動作電圧が低減することになる。

【0053】また、本実施形態に係る素子内の欠陥密度は、従来の100分の1以下の $10^7/\text{cm}^2$ であり、大幅に欠陥密度が低減している。これはAlNを含む拡散抑制層18と $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ よりなる多重量子井戸層16とを組み合わせさせた結果、GaNに対する格子不整合率が $10^{-4}$ 程度と、従来の活性層における格子不整合率の100分の1程度に減少しているからである。

【0054】すなわち、図6に示すように、拡散抑制層18にGaNに対する格子不整合率が3.1%のAlNを含むことにより、GaNに対する格子不整合率が2.5%の $\text{Ga}_{0.8}\text{In}_{0.2}\text{N}$ よりなる活性層16bにかかる圧縮歪を打ち消すことができる。これにより、p型クラッド層19に対する格子不整合率を従来の活性層に比べて小さくできるため、活性層16bから発生する欠陥が低減して活性層の結晶性が向上するので、発光素子の発光特性を向上させることができる。

【0055】なお、サファイアよりなる基板11の代わりにSiCよりなる基板や、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 、 $\text{ZnO}$ 、Mg

$\text{Al}_2\text{O}_4$ 又は $\text{LiAlO}_2$ 等の酸化物よりなる基板を用いてもよく、さらに、SiC傾斜基板を用いても同様な効果が得られる。

【0056】また、拡散抑制層18中のAlN層181の代わりに、AlN層と $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ (但し、 $x$ は $0 \leq x < 1$ であり、 $y$ は $0 \leq y \leq 1$ である。)層とが交互に繰り返されてなる多層構造の積層体であっても同様な効果が得られる。

【0057】さらに、拡散抑制層18にMgが添加されていても同様な効果を得ることができる。

【0058】

【発明の効果】本発明に係る第1又は第2の半導体発光素子によると、活性層と第2導電型の第2のクラッド層との間に形成され、第2導電型の不純物が活性層側の領域へ拡散することを抑制するAlNを含む拡散抑制層を備えているため、該AlNを構成するAlは、例えば同じIII族元素であるGaよりもその原子半径が小さいため、AlNよりなる結晶格子の格子間の間隙が小さいので、不純物原子が拡散できなくなる。これにより、活性層に侵入する第2導電型の不純物が抑制されるため、該不純物に起因する発光効率の低下が生じないため、しきい値電流密度が低減し、動作電圧を低減を実現できる。

【0059】第2の半導体発光素子において、拡散抑制層が、AlNよりなる半導体層とGaNよりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなると、ヘテロ接合によりGaNよりなる各半導体層に量子井戸が形成されるため、複数の互いに隣接する量子井戸間で生じる量子トンネル準位がすべて等しくなるように該ヘテロ接合を形成すれば、該拡散抑制層にトンネル電流が流れるので、拡散抑制層が設けられていても発光素子の内部抵抗が低減することになる。従って、発光素子の動作電圧が低減する。

【0060】第1又は第2の半導体発光素子において、第2導電型の不純物がMgであると、第2導電型を容易に且つ確実にp型とすることができる。

【0061】また、第1又は第2の半導体発光素子において、拡散抑制層が、AlNよりなる半導体層と $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x-y}\text{In}_y\text{N}$ (但し、式中の $x$ は $0 \leq x < 1$ であり、 $y$ は $0 \leq y \leq 1$ である。)よりなる半導体層とが交互に積層された積層体よりなると、窒素を含むIII-V族化合物として $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ よりなる活性層を用いる場合には、格子整合が良好となり、発光特性が向上する。

【0062】また、第1又は第2の半導体発光素子において、活性層に、 $\text{Ga}_{1-x}\text{In}_x\text{N}$ (但し、式中の $x$ は $0 < x \leq 1$ である。)を用いると、短波長のレーザ光を発生する半導体発光素子を確実に実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施形態に係る半導体発光素子を示す構成断面図である。

【図2】本発明の一実施形態に係る半導体発光素子の電流電圧特性を表すグラフである。

【図3】本発明の一実施形態に係る半導体発光素子及び従来の半導体発光素子におけるp型不純物であるMg濃度を示すグラフである。

【図4】本発明の一実施形態に係る半導体発光素子における拡散抑制層を示し、(a)は価電子帯エネルギーバンドと量子トンネル準位とを表す図であり、(b)は(a)に対応する拡散抑制層の断面図である。

【図5】従来の半導体発光素子を示す構成断面図である。

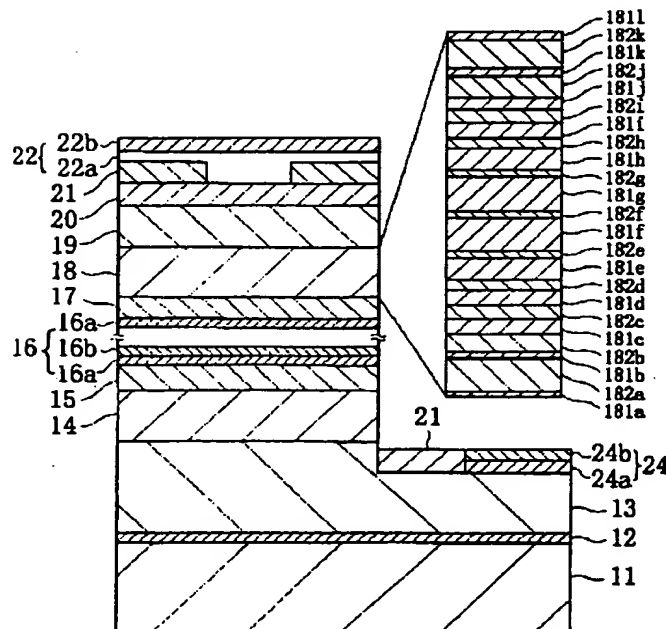
【図6】代表的なIII-V族化合物半導体のバンドギャップと格子定数との関係を示すグラフである。

【符号の説明】

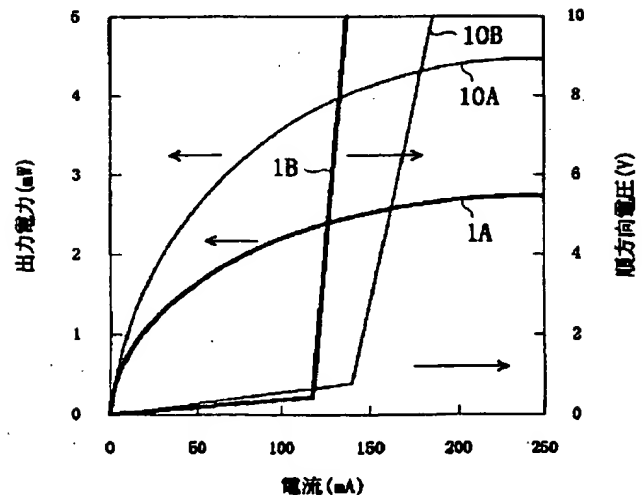
- 11 基板
- 12 バッファ層
- 13 n型Ga<sub>0.9</sub>N層
- 14 n型クラッド層(第1のクラッド層)
- 15 第1のガイド層
- 16 多重量子井戸層
- 16a バリア層
- 16b 活性層
- 17 第2のガイド層
- 18 拡散抑制層
- 181 AlNよりなる半導体層
- 181a AlN(1)層
- 181b AlN(2)層
- 181c AlN(3)層
- 181d AlN(4)層

- 181e AlN(6)層
- 181f AlN(10)層
- 181g AlN(10)層
- 181h AlN(6)層
- 181i AlN(4)層
- 181j AlN(3)層
- 181k AlN(2)層
- 181l AlN(1)層
- 182 GaNよりなる半導体層
- 182a GaN(10)層
- 182b GaN(6)層
- 182c GaN(4)層
- 182d GaN(3)層
- 182e GaN(2)層
- 182f GaN(1)層
- 182g GaN(2)層
- 182h GaN(3)層
- 182i GaN(4)層
- 182j GaN(6)層
- 182k GaN(10)層
- 19 p型クラッド層(第2のクラッド層)
- 20 コンタクト層
- 21 電流狭さく層
- 22 陽電極
- 22a 第1の金属膜
- 22b 第2の金属膜
- 24 陰電極
- 24a Ti層
- 24b Al層

【図1】

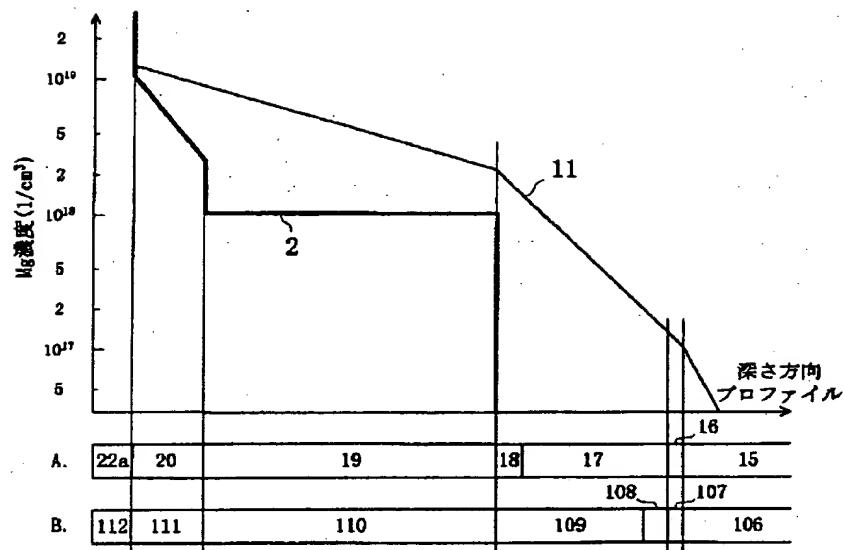


【図2】

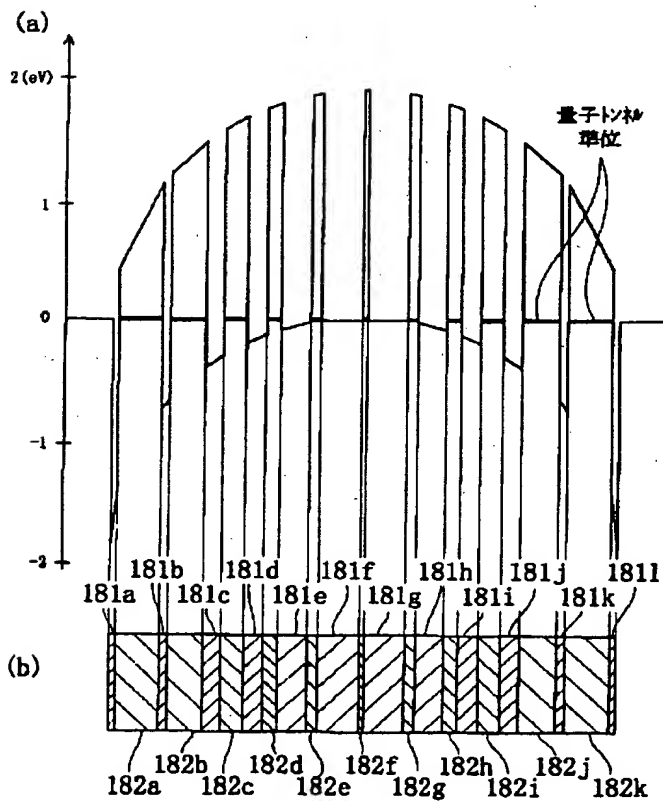




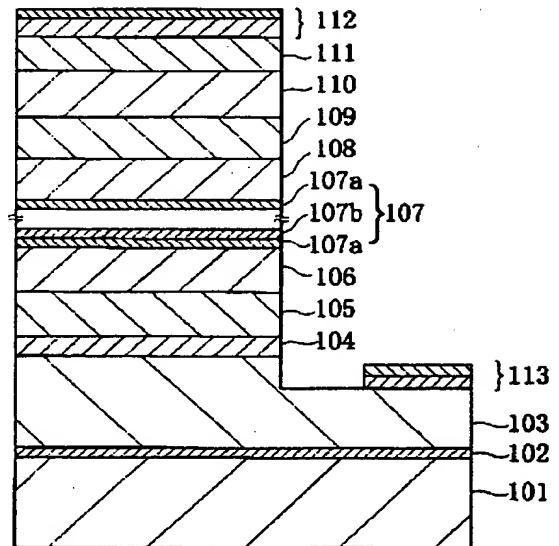
【図3】



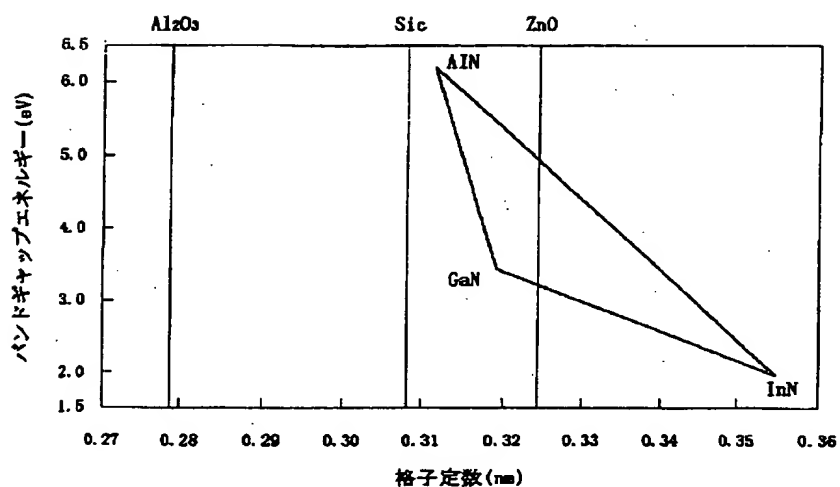
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 原 義博  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72)発明者 木戸口 勲  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内

(72)発明者 糸 雅博  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内  
 (72)発明者 伴 雄三郎  
 大阪府門真市大字門真1006番地 松下電器  
 産業株式会社内